

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ РОБАСТНОСТИ БЕЗДАТЧИКОВОГО ВЕКТОРНОГО АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ИДЕНТИФИКАТОРОМ КАЛМАНА

Приведены результаты исследования параметрической робастности бездатчикового векторного асинхронного электропривода с идентификатором Калмана при изменении таких внутренних параметров электродвигателя, как активное сопротивление ротора, индуктивность цепи намагничивания, момент инерции. Установлены границы устойчивости работы электропривода при увеличении каждого из перечисленных параметров.

Сегодня нельзя найти отрасль, где не применялись бы частотно-регулируемые электроприводы с приводными асинхронными двигателями (АД). Большинство производственных машин и механизмов общепромышленного применения (вентиляторы, насосы, конвейеры) требуют относительно небольшого диапазона и невысокой точности регулирования скорости, относительно низкого быстродействия. В этом случае используют электроприводы с системой скалярного управления асинхронными двигателями, то есть с взаимосвязанным регулированием частоты и значения питающего напряжения. Широкодиапазонные, высокочастотные и быстродействующие электроприводы станков, роботов и транспортных средств требуют применения более сложных систем векторного управления.

Главной проблемой построения систем векторного управления АД является получение текущей информации о векторе магнитного потокосцепления. Использование датчиков индукции магнитного поля в воздушном зазоре машины на базе элементов Холла или применение дополнительных статорных обмоток для измерения ЭДС позволяет системе управления получать достоверную информацию о векторе потокосцепления. Однако это влечет за собой изменения конструкции двигателя, его технологического усложнения, а следовательно, удорожания. При этом разработчики асинхронных векторных электроприводов все чаще стремятся отказаться от механического датчика скорости (тахогенератора), что увеличивает надежность и уменьшает стоимость электропривода.

Задачу бездатчикового управления решают при помощи методов динамической идентификации, то есть определения в реальном времени текущих значений вектора состояния. Более целесообразным является применение для идентификации методов оценивания, основанных на регистрации измеренных величин при действии случайных помех и дальнейшей их статистической обработки [1]. В случае АД с короткозамкнутым ротором измеряемыми величинами выступают напряжения и токи фаз статора.

На рис. 1 представлена структура бездатчикового векторного асинхронного электропривода, замкнутого по сигналу идентификатора состояния на основе фильтра Калмана. Измеряемые статорные напряжения U_{sa}, U_{sd}, U_{sc} и токи I_{sa}, I_{sd}, I_{sc} двигателя АД трансформируются преобразователем координат (ПК) в напряжения U_{sa}, U_{sd} и токи I_{sa}, I_{sd} неподвижной системы координат $\alpha-\beta$, которые являются входными сигналами для фильтра Калмана (ФК). ФК на основе измеренных статорных напряжений и токов асинхронного двигателя АД рассчитывает текущие значения потокосцепления ротора ψ , и скорости ω вала двигателя. На систему управления электроприводом (СУЭП), включающую в себя ПИ-регуляторы скорости, потокосцепления ротора и токов статора, подаются сигналы задания на скорость и потокосцепление ротора U_{zc} .

Также система управления электроприводом СУЭП получает сигналы статорных токов I_{sa}, I_{sd} и рассчитанных с использованием фильтра Калмана потокосцепления ротора ψ и скорости ω вала двигателя. В составе системы управления электроприводом СУЭП предусмотрено преобразование статорных токов из неподвижной системы координат $\alpha-\beta$ во вращающуюся $d-q$, ориентированную по вектору потокосцепления ротора. Применение данного преобразования обусловлено тем, что регуляторы координат электропривода могут быть реализованы только во вращающейся системе координат. На преобразователь частоты (ПЧ) поступают управляющие сигналы для шести силовых полупроводниковых ключей $u, -u, u, -u, u, -u$ от системы управления электроприводом СУЭП, а также трехфазное напряжение питающей сети U_c .

Фильтр Калмана – это линейный адаптивный фильтр рекурсивного типа, который позволяет получить данные о параметрах и переменных состояния АД на основании измерительной информации в условиях действия на двигатель случайных помех и возмущений. Термин «рекурсивный» обозначает то, что для расчета текущих оценок требуется знание о состоянии системы только на предыдущем шаге.

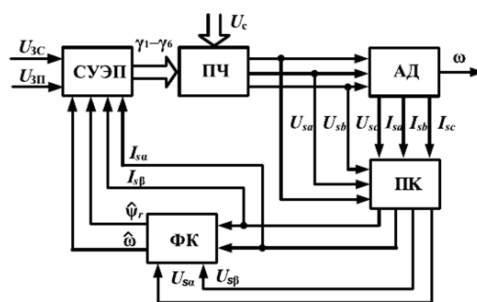


Рис. 1 Структура бездатчикового векторного асинхронного электропривода

Каждый шаг работы фильтра Калмана подразделяется на два этапа. Первый представляет собой предсказание состояния динамического объекта и предсказание измеряемой величины на основании полученных данных о состоянии. Под предсказанием следует понимать оценивание переменных по предварительным данным о состоянии объекта на предыдущем шаге работы фильтра. Второй этап состоит из уточнения предсказанного значения с использованием данных текущих измерений (с датчиков токов или напряжений).

Для использования калмановской фильтрации необходимо знание адекватной математической модели АД, представленной в пространстве состояний, а также ковариационных матриц погрешностей измерения и возмущения. Математическая модель АД является линейаризованной в окрестности предыдущей рабочей точки. При этом действующие на двигатель помехи должны представлять собой белый гауссовский шум.

Одной из главных проблем бездатчикового электропривода является низкая робастность при изменении внутренних параметров двигателя - активных сопротивлений и индуктивностей обмоток, момента инерции. Для адекватной оценки вектора состояния фильтром Калмана необходимо знание точных значений параметров двигателя, так как параметры «вшиваются» в программу идентификатора (фильтр Калмана технически реализуется в виде программного кода на каком-либо языке программирования в микроконтроллере), и при несоответствии заданных и реальных параметров произойдет неверное оценивание переменных состояния двигателя. Это может привести к некачественному регулированию процессов в электроприводе и даже к потере системой устойчивости.

Известно, что активные сопротивления статорных и роторных обмоток зависят от температуры, которая изменяется в процессе работы электродвигателя. Токи статора и ротора, протекая по соответствующим обмоткам, со временем нагревают их (проявляется тепловое действие электрического тока). Это вызывает увеличение активных сопротивлений обмоток. В свою очередь индуктивности обмоток изменяются в зависимости от степени насыщения магнитной цепи (проявляется нелинейность кривой намагничивания двигателя). Суммарный момент инерции электропривода также может варьироваться при набросе и сбросе нагрузки, например, когда к двигателю, работавшему на холостом ходу, через муфту подключается механизм.

В качестве объекта исследований параметрической робастности была использована имитационная модель бездатчикового векторного асинхронного электропривода на базе двигателя типа АИР 90L4 в программной среде Matlab Simulink. Модель учитывала ограничения на допустимых уровнях выходных напряжений регуляторов. Программа исследований заключалась в поочередном изменении параметров модели двигателя на максимальной скорости, при этом те же значения, заданные в программном коде фильтра Калмана, оставались неизменными.

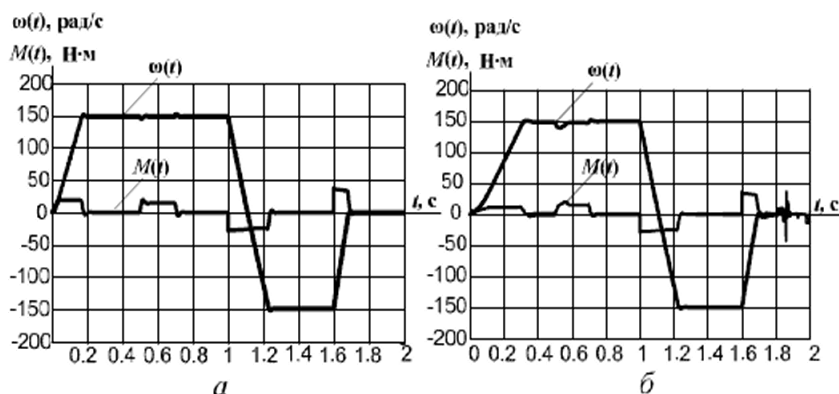


Рис. 2 Переходные процессы в бездатчиковом электроприводе при:
а) номинальных параметрах двигателя;
б) увеличении активного сопротивления ротора АД на 20%

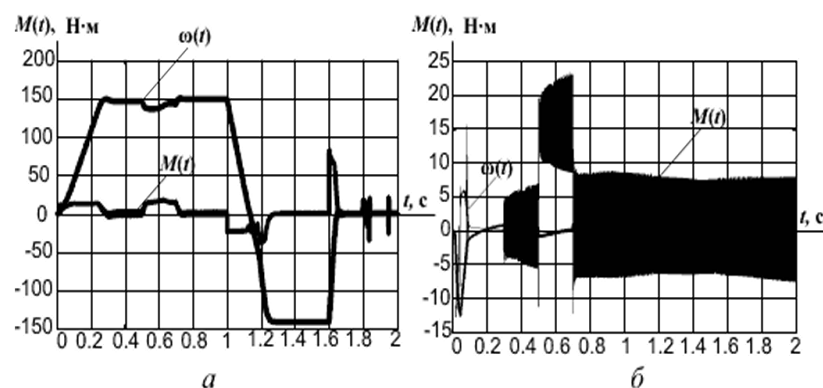


Рис. 3 Переходные процессы в бездатчиковом электроприводе при увеличении активного сопротивления ротора АД на: а) 35; б) 40%

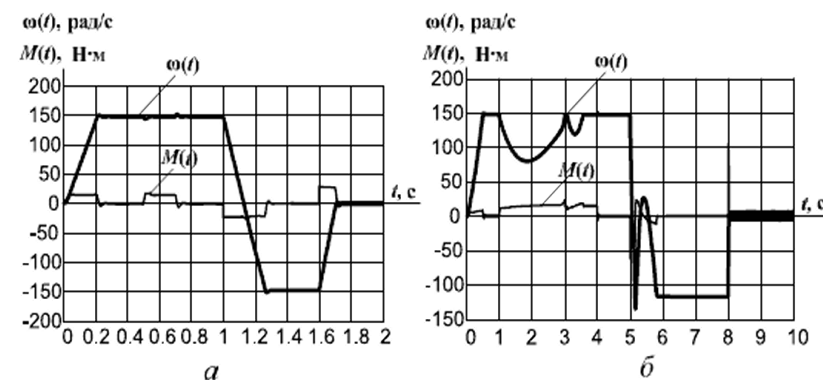


Рис. 4 Переходные процессы в бездатчиковом электроприводе при увеличении индуктивности намагничивания АД на: а) 25; б) 50 %

Из полученных графиков видно, что при увеличении активного сопротивления ротора двигателя на 20 % от номинального значения зависимость скорости от времени не изменяется. На осциллограмме электромагнитного момента появляются колебания.

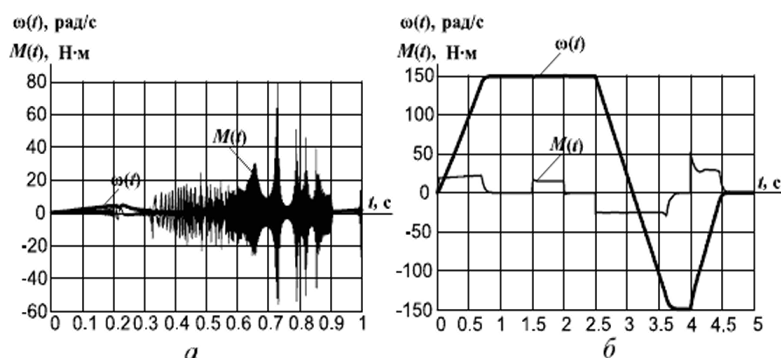


Рис. 5 Переходные процессы в бездатчиковом электроприводе при увеличении: а) индуктивности намагничивания АД на 70 %; б) момента инерции АД в 5 раз

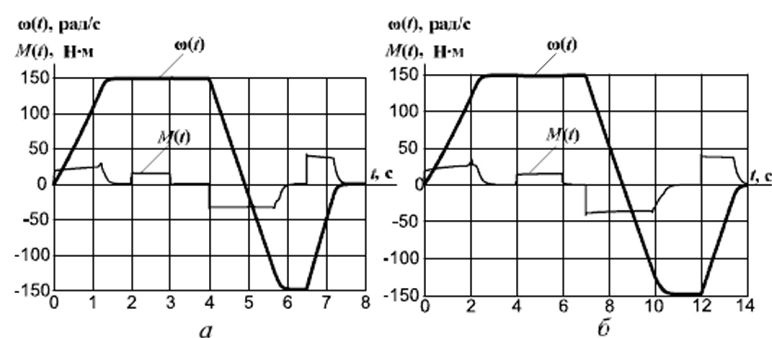


Рис. 6 Переходные процессы в бездатчиковом электроприводе при увеличении момента инерции АД в: а) 10; б) 20 раз

При изменении активного сопротивления ротора двигателя на 35 % скорость не принимает заданного значения при набросе и сбросе номинальной нагрузки. При увеличении активного сопротивления ротора на 40 % электромеханическая система теряет устойчивость.

При изменении индуктивности цепи намагничивания, влияющей одновременно на индуктивности статора и ротора, на 25 % по сравнению с номинальным значением зависимости скорости и момента от времени не претерпевают каких-либо изменений. Увеличение индуктивности цепи намагничивания на 50 % приводит к затягиванию времени переходных процессов и негативно влияет на характер зависимостей скорости и момента от времени при набросе нагрузки и реверсе. Изменение индуктивности цепи намагничивания на 70 % ведет к потере системой устойчивости. Возрастание момента инерции электропривода во много раз не влияет на его устойчивость. Учет изменения параметров в реальном времени может производиться расширенным фильтром Калмана, который получается путем дополнения вектора состояния вектором параметров двигателя.

Выводы

1. Приведена структура бездатчикового векторного асинхронного электропривода, замкнутого по сигналам идентификатора состояния на основе фильтра Калмана. Обоснована проблема низкой параметрической робастности бездатчиковой системы управления.
2. Установлены значения внутренних параметров двигателя, при которых бездатчиковый асинхронный электропривод с фильтром Калмана может обеспечивать устойчивую работу.

Список использованных источников

1. Каширских В. Г. Динамическая идентификация асинхронных электродвигателей. - Кемерово: Изд-во КузГТУ, 2005. - 139 с.
2. Браммер К., Зифлинг Г. Фильтр Калмана-Бьюсн. Пер. с нем. - М.: Наука, 1982. - 199 с.
3. Копылов И.Г. Математическое моделирование электрических машин. - 3-е, перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 2001. - 327 с.: ил.